胡芦巴粉对肉仔鸡生长性能、肉品质、免疫器官指数及血清抗氧化和生化指标的影响

颜　陶　王思宇　杨小军　段玉兰　龚月生*　杨　欣*

（西北农林科技大学动物科技学院，杨凌 712100）

摘　要：本试验旨在研究饲粮中添加不同水平胡芦巴粉对肉仔鸡生长性能、肉品质、免疫器官指数及血清抗氧化和生化指标的影响。试验选用 1 日龄爱拔益加肉仔鸡 320 只，随机分为 4 个组，每组 8 个重复，每个重复 10 只鸡。各组分别饲喂含 0（对照）、3%、6%、9%胡芦巴粉的营养水平相同的全价饲粮，试验期 42 d。结果表明：1）1~21 日龄，6%和 9%胡芦巴粉组平均体重和平均日增重显著低于对照组（$P<0.05$），9%胡芦巴粉组平均日采食量显著低于对照组（$P<0.05$），3%胡芦巴粉组料重比显著低于对照组（$P<0.05$）。22~42 日龄和 1~42 日龄，饲粮胡芦巴粉水平对肉仔鸡各项生长性能指标均无显著影响（$P>0.05$）。2）9%胡芦巴粉组胸肌滴水损失率和压力损失率显著低于对照组（$P<0.05$）。饲粮胡芦巴粉水平对胸肌 $pH_{45\ min}$、$pH_{24\ h}$、剪切力和蒸煮损失率均无显著影响（$P>0.05$）。3）6%胡芦巴粉组 21 日龄脾脏指数显著高于对照组（$P<0.05$）。饲粮胡芦巴粉水平对 21 日龄胸腺指数、法氏囊指数及 42 日龄胸腺指数、脾脏指数和法氏囊指数均无显著影响（$P>0.05$）。4）9%胡芦巴粉组的 21 日龄血清总超氧化物歧化酶活性高于对照组（$P>0.05$），且显著高于 3%和 6%胡芦巴粉组（$P<0.05$）；6%胡芦巴粉组的 42 日龄血清总抗氧化能力显著高于其他各组（$P<0.05$）。饲粮胡芦巴粉水平对 21 日龄血清总抗氧化能力和丙二醛含量以及 42 日龄血清总超氧化物歧化酶活性和丙二醛含量均无显著影响（$P>0.05$）。5）9%胡芦巴粉组的 21 日龄血清谷草转氨酶活性显著高于对照组（$P<0.05$）；3%胡芦巴粉组的 42 日龄血清谷草转氨酶活性显著高于对照组（$P<0.05$）。饲粮胡芦巴粉水平对 21 和 42 日龄血清总蛋白、白蛋白、球蛋白、尿素氮含量和白球比及谷丙转氨酶活性无显著影响（$P>0.05$）。由此可见，胡芦巴粉可作为一种蛋白质饲料原料应用于肉仔鸡生产，其具有提高肌肉系水力，促进免疫器官发育，提高抗氧化能力和增强机体蛋白质代谢的作用。胡芦巴粉在肉仔鸡饲粮中的适宜添加水平为：1~21

收稿日期：2017-03-10
基金项目：陕西省科技统筹创新工程计划项目（2015KTCQ02-19）；陕西省农业科技创新与攻关项目（2015NY149）
作者简介：颜　陶（1992—），男，山东济宁人，硕士研究生，从事家禽营养调控研究。E-mail: 1468535134@qq.com
*通信作者：龚月生，教授，硕士生导师，E-mail: gongyuesheng@sohu.com；杨　欣，讲师，E-mail: yangx0629@163.com

日龄不超过 3%，22~42 日龄不超过 6%。

关键词：胡芦巴粉；肉仔鸡；生长性能；肉品质；血清生化指标

中图分类号：S831.5

胡芦巴(*Trigonella foenum-graecum* L.)又称葫芦巴、香豆子，是一种一年生豆科草本植物，在亚洲、非洲、美洲及地中海地区作为药食兼用的经济作物被广泛种植，我国各地也均有栽培[1]。胡芦巴种子富含糖类（50%~60%）、蛋白质（25%~30%）、脂类（5%~10%）等营养物质[2]，还含有半乳甘露聚糖、黄酮、皂苷、生物碱、4-羟基异亮氨酸等具有特殊生理生化活性的物质，一般作为香料和药物被人类利用[3]。胡芦巴粉是将胡芦巴种子去除胚乳用以提取胡芦巴胶之后，把种皮和胚粉碎研磨得到的一种副产品。胡芦巴粉中粗蛋白含量达 38.2%，真蛋白质含量达 28.9%，具有成为非常规蛋白质饲料原料的潜能，且已被收录至《中国饲料原料名录第 1773 号》[4]。在家禽和猪上的研究表明，饲粮中添加胡芦巴粉对试验动物的生长性能和健康状况具有显著提高作用[5-6]。同时，许多研究表明胡芦巴粉中的黄酮具有抗氧化和降低胆固醇的作用[7]，皂苷可以提高家禽生长性能[8]，4-羟基异亮氨酸则能促进骨骼肌细胞对葡萄糖的摄取[9]。目前，胡芦巴粉作为蛋白质饲料原料的开发利用状况仍非常不充分，鲜有胡芦巴粉在肉仔鸡上饲用价值评定的相关研究，其适宜添加水平的研究更未见报道。另外，胡芦巴粉作为饲料原料应用时，能否通过其中的活性物质改善畜禽健康状况、提高畜产品品质也同样值得关注。因此，本试验通过在饲粮中添加不同水平胡芦巴粉，研究其对肉仔鸡生长性能、肉品质、免疫器官指数及血清抗氧化和生化指标的影响，为胡芦巴粉在肉仔鸡生产中的应用提供参考和理论依据。

1　材料与方法

1.1　试验材料

胡芦巴粉由杨凌尚禾植物科技产业有限公司提供。经检测各营养指标含量为：能量 20.10 MJ/kg、粗蛋白质 38.30%、总氨基酸 26.43%、粗脂肪 6.98%、钙 0.10%、磷 0.06%。

1.2　试验动物和试验设计

试验采用单因素设计，选取健康、体重相近的 1 日龄爱拔益加（AA）肉仔鸡 320 只，随机分为 4 个组，每组 8 个重复，每个重复 10 只鸡。各组分别饲喂含 0（对照）、3%、6%、

9%胡芦巴粉的营养水平相同的全价饲粮。采用 4 层立体网上养殖，试验期 42 d，期间自由采食和饮水，并按肉仔鸡常规免疫程序进行疫苗接种。

1.3　试验饲粮

饲粮参照 NRC（1994）和我国《鸡饲养标准》（NY/T 33—2004），结合《AA 肉仔鸡饲养手册》配制。试验饲粮组成及营养水平见表 1。

表 1　试验饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of experimental diets (air-dry basis)　　%

项目 Items	1～21 日龄 1 to 21 days of age				22～42 日龄 22 to 42 days of age			
	胡芦巴粉水平 Fenugreek powder level/%							
	0	3	6	9	0	3	6	9
原料 Ingredients								
玉米 Corn	59.64	58.74	57.84	57.04	62.70	62.24	61.82	61.38
豆粕 Soybean meal	33.65	31.26	28.85	26.40	27.25	24.57	21.89	19.21
棉籽粕 Cottonseed meal					4.00	4.00	4.00	4.00
胡芦巴粉 Fenugreek powder		3.00	6.00	9.00		3.00	6.00	9.00
豆油 Soybean oil	1.82	2.03	2.24	2.45	2.73	2.80	2.86	2.94
石粉 Limestone	1.83	1.83	1.83	1.83	1.90	1.90	1.90	1.90
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	1.60	1.65	1.70	1.70				
预混料 Premix1)	0.50	0.50	0.50	0.50	0.80	0.80	0.80	0.80
食盐 NaCl	0.32	0.32	0.33	0.33	0.37	0.38	0.38	0.38
L-赖氨酸 *L*-Lys	0.27	0.28	0.29	0.30	0.12	0.14	0.15	0.16
L-苏氨酸 *L*-Thr	0.19	0.21	0.23	0.25		0.03	0.05	0.07
DL-蛋氨酸 *DL*-Met	0.18	0.18	0.19	0.20	0.11	0.12	0.13	0.14
植酸酶 Phytase					0.02	0.02	0.02	0.02
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels2)								
代谢能 ME/(MJ/kg)	12.13	12.13	12.13	12.13	12.97	12.97	12.97	12.97

粗蛋白质 CP	20.00	20.00	20.00	20.00	19.00	19.00	19.00	19.00
钙 Ca	1.10	1.10	1.10	1.10	1.00	1.00	1.00	1.00
总磷 TP	0.63	0.62	0.61	0.59	0.64	0.63	0.62	0.61
有效磷 AP	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
赖氨酸 Lys	1.20	1.20	1.20	1.20	1.00	1.00	1.00	1.00
蛋氨酸 Met	0.50	0.50	0.50	0.50	0.40	0.40	0.40	0.40
苏氨酸 Thr	1.00	1.00	1.00	1.00	0.75	0.75	0.75	0.75

1) 预混料为每千克饲粮提供 The premix provided the following per kg of diets：VA 8 000 IU，VB_1 2 mg，VB_2 6 mg，VB_5 40 mg，VB_6 3.5 mg，VB_{12} 0.02 mg，VD_3 3 000 IU，VE 25 IU，VK_3 0.5 mg，生物素 biotin 0.15 mg，叶酸 folic acid 1.25 mg，*D*-泛酸 *D*-pantothenic acid 12 mg，烟酸 nicotinic acid 10 mg，Cu (as copper sulfate) 8 mg，Fe (as ferrous sulfate) 80 mg，Mn (as manganese sulfate) 100 mg，Zn (as zinc sulfate) 75 mg，I (as potassium iodide) 0.35 mg，Se (as sodium selenite) 0.15 mg。

2) 营养水平为计算值。Nutrient levels were calculated values.

1.4 指标测定

1.4.1 生长性能

以重复为单位，分别于 21 和 42 日龄称取鸡只空腹体重和耗料量，计算平均体重（ABW）、平均日增重（ADG）、平均日采食量（ADFI）和料重比（F/G）。

1.4.2 肉品质

分别于 21 和 42 日龄，每重复随机选取 1 只体重接近该重复平均值的鸡，禁食 12 h 后称重，颈静脉放血屠宰。42 日龄屠宰后，将试验鸡右侧胸肌剥离，用以测定肌肉 pH[屠宰后 45 min pH（$pH_{45\ min}$）和屠宰后 24 h pH（$pH_{24\ h}$）]、滴水损失率、蒸煮损失率、压力损失率和剪切力值，具体测定方法参照 Zhang 等[10]。

1.4.3 免疫器官指数

21 和 42 日龄屠宰后，完整摘取试验鸡的脾脏、胸腺和法氏囊并称重，计算免疫器官指数。

免疫器官指数(g/kg)=免疫器官鲜重/活体重。

1.4.4　血清抗氧化指标

21 和 42 日龄屠宰前，对试验鸡进行翅下静脉采血，血样 37 ℃恒温水浴至凝固，待血清析出后，3 000 r/min 离心 5 min 并分装，－80 ℃冰箱保存。采用试剂盒检测血清总超氧化物歧化酶（T-SOD）活性、丙二醛（MDA）含量及总抗氧化能力（T-AOC），试剂盒均购自南京建成生物工程研究所。

1.4.5　血清生化指标

采用试剂盒检测血清总蛋白（TP）、白蛋白（ALB）、球蛋白（GLO）、尿素氮（UN）含量以及谷丙转氨酶（ALT）、谷草转氨酶（AST）活性，试剂盒均购自南京建成生物工程研究所。

1.5　数据统计

数据以平均值±标准误表示，采用 SPSS 16.0 软件的 one-way ANOVA 程序先进行方差检验，再进行 Duncan 氏法多重比较，以 P<0.05 为差异显著。

2　结果与分析

2.1　饲粮胡芦巴粉水平对肉仔鸡生长性能的影响

由表 2 可知，饲养前期（1~21 日龄），与对照组相比，3%胡芦巴粉组肉仔鸡平均体重差异不显著（P＞0.05），6%和 9%胡芦巴粉组肉仔鸡平均体重显著降低（P<0.05）；6%和 9%胡芦巴粉组肉仔鸡平均日增重显著降低（P<0.05），而 3%胡芦巴粉组肉仔鸡平均日增重差异不显著（P＞0.05）；3%、6%和 9%胡芦巴粉组肉仔鸡平均日采食量呈现不同程度的降低，其中 9%胡芦巴粉组肉仔鸡平均日采食量显著降低（P<0.05），3%和 6%胡芦巴粉组肉仔鸡平均日采食量差异不显著（P＞0.05）；3%胡芦巴粉组肉仔鸡料重比显著降低（P<0.05），6%和 9%胡芦巴粉组肉仔鸡料重比差异不显著（P＞0.05）。

饲养后期（22~42 日龄），饲粮胡芦巴粉水平对肉仔鸡各项生长性能指标均无显著影响（P>0.05）；但值得注意的是，9%胡芦巴粉组的肉仔鸡平均体重在数值上明显低于其他各组，料重比明显高于其他各组。综合全期（1~42 日龄）来看，饲粮胡芦巴粉水平对肉仔鸡各项生长性能指标均无显著影响（P>0.05）。

以上结果提示，肉仔鸡饲养前期添加 3%胡芦巴粉可降低饲养前期的料重比，超过该水平时会对肉仔鸡采食和增重产生负面影响。饲养后期，饲粮添加 3%、6%和 9%的胡芦巴粉

均未对生长性能产生显著影响，但当添加水平达到 9%时具有降低饲养后期生长性能的风险。综合全期来看，饲粮胡芦巴粉水平对肉仔鸡生长性能指标无显著影响。因此，从生长性能方面看，胡芦巴粉可作为饲料原料替代肉仔鸡饲粮中部分玉米和豆粕。适宜的添加水平为：饲养前期不超过 3%，饲养后期不超过 6%。

表 2　饲粮胡芦巴粉水平对肉仔鸡生长性能的影响

Table 2　Effects of dietary fenugreek powder level on growth performance of broilers

项目 Items	日龄 Days of age	胡芦巴粉水平 Fenugreek powder level/%				*P* 值 *P*-value
		0	3	6	9	
平均体重 ABW/g	1~21	647.7±11.3^{a}	641.6±13.2^{a}	566.6±12.8^{b}	614.3±13.1^{b}	<0.001
平均日增重 ADG/g		29.7±0.5^{a}	29.4±0.5^{a}	27.0±0.8^{b}	25.4±0.4^{b}	＜0.001
平均日采食量 ADFI/g		47.0±1.1^{a}	43.6±1.2^{ab}	44.3±1.6^{ab}	41.3±1.1^{b}	0.028
料重比 F/G		1.59±0.37^{a}	1.47±0.19^{b}	1.64±0.38^{a}	1.63±0.41^{a}	0.013
平均体重 ABW/g	22~42	1 632.4±28.5	1 630.6±50.5	1 642.5±72.6	1 488.3±44.7	0.128
平均日增重 ADG/g		53.5±1.7	55.1±2.5	57.8±3.2	52.3±2.3	0.435
平均日采食量 ADFI/g		108.5±2.8	112.7±3.3	118.3±5.1	119.3±4.3	0.201
料重比 F/G		2.04±0.07	2.07±0.09	2.07±0.06	2.31±0.11	0.106
平均日增重 ADG/g	1~42	41.6±0.7	42.2±1.3	42.6±1.7	38.9±1.2	0.186
平均日采食量 ADFI/g		73.0±1.7	72.3±2.1	74.7±2.7	72.2±1.7	0.824
料重比 F/G		1.76±0.04	1.72±0.06	1.76±0.05	1.87±0.07	0.256

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著（P<0.05），相同或无字母表示差异不显著（P>0.05）。下表同。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference (P<0.05), while with the same or no letter superscripts mean no significant difference (P>0.05). The same as below.

2.2　饲粮胡芦巴粉水平对肉仔鸡胸肌肉品质的影响

由表 3 可知，各组的胸肌滴水损失率随饲粮胡芦巴粉水平升高而逐渐降低，且 9%胡芦巴粉组显著低于对照组（P<0.05）；9%胡芦巴粉组的胸肌压力损失率显著低于对照组

（P<0.05）；饲粮胡芦巴粉水平对胸肌 $pH_{45\ min}$、$pH_{24\ h}$、剪切力和蒸煮损失率均无显著影响（P>0.05）。

表 3　饲粮胡芦巴粉水平对肉仔鸡胸肌肉品质的影响

Table 3　Effects of dietary fenugreek powder level on meat quality of breast muscle of broilers

项目 Items	胡芦巴粉水平 Fenugreek powder level/%				P 值 P-value
	0	3	6	9	
$pH_{45\ min}$	6.20±0.06	6.28±0.08	6.34±0.10	6.26±0.04	0.635
$pH_{24\ h}$	5.25±0.03	5.21±0.04	5.25±0.03	5.23±0.01	0.708
剪切力 Shear force/kgf	2.60±0.22	2.47±0.12	3.20±0.38	2.89±0.33	0.283
滴水损失率 Drip loss/%	10.65±1.42[a]	9.06±0.48[a]	8.77±0.66[a]	5.00±0.35[b]	<0.001
蒸煮损失率 Cooking loss/%	21.00±1.77	23.17±0.80	19.68±1.50	17.76±1.78	0.103
压力损失率 Pressure loss/%	36.71±2.36[a]	37.45±2.53[a]	40.97±1.31[a]	30.77±1.15[b]	0.011

2.3　饲粮胡芦巴粉水平对肉仔鸡免疫器官指数的影响

由表 4 可知，6%胡芦巴粉组的 21 日龄脾脏指数显著高于其他各组（P<0.05）；饲粮胡芦巴粉水平对 21 日龄的胸腺指数和法氏囊指数均无显著影响（P>0.05）。饲粮胡芦巴粉水平对 42 日龄的胸腺指数、脾脏指数和法氏囊指数均无显著影响（P>0.05）。

表 4　饲粮胡芦巴粉水平对肉仔鸡免疫器官指数的影响

Table 4　Effects of dietary fenugreek powder level on immune organ indexes of broilers　g/kg

项目 Items	日龄 Days of age	胡芦巴粉水平 Fenugreek powder level/%				P 值 P-value
		0	3	6	9	
胸腺指数 Thymus index	21	3.83±0.55	4.24±0.93	4.00±1.17	3.76±0.83	0.688
脾脏指数 Spleen index		0.70±0.22[b]	0.91±0.21[b]	1.13±1.33[a]	0.91±0.25[b]	0.002
法氏囊指数 Bursa of Fabricius index		2.34±0.33	2.45±0.85	2.33±0.47	2.38±0.65	0.976
胸腺指数 Thymus index	42	3.28±1.05	3.01±0.83	3.28±1.03	3.56±0.94	0.686

项目 Items	日龄	胡芦巴粉水平 Fenugreek powder level/%				P 值
脾脏指数 Spleen index		0.89±0.22	0.85±0.28	0.98±0.29	0.97±0.22	0.658
法氏囊指数 Bursa of Fabricius index		1.56±0.29	1.81±0.58	1.94±0.71	1.54±0.25	0.266

2.4 饲粮胡芦巴粉水平对肉仔鸡血清抗氧化指标的影响

由表 5 可知，9%胡芦巴粉组的 21 日龄血清 T-SOD 活性显著高于 3%和 6%胡芦巴粉组（$P<0.05$），且较对照组有提高的趋势（$P>0.05$）；饲粮胡芦巴粉水平对 21 日龄血清 T-AOC 和 MDA 含量均无显著影响（$P>0.05$）。6%胡芦巴粉组的 42 日龄血清 T-AOC 显著高于其他各组（$P<0.05$）；饲粮胡芦巴粉水平对 42 日龄血清 T-SOD 活性和 MDA 含量均无显著影响（$P>0.05$）。

表 5 饲粮胡芦巴粉水平对肉仔鸡血清抗氧化指标的影响

Table 5 Effects of dietary fenugreek powder level on serum antioxidant parameters of broilers

项目 Items	日龄 Days of age	胡芦巴粉水平 Fenugreek powder level/%				P 值 P-value
		0	3	6	9	
总抗氧化能力 T-AOC/(μmol/L)	21	6.82±1.15	6.24±0.62	6.00±0.61	5.29±1.67	0.773
总超氧化物歧化酶 T-SOD/(U/mL)		$97.77±9.25^{ab}$	$76.41±9.16^{b}$	$87.97±7.11^{b}$	$115.45±6.24^{a}$	0.009
丙二醛 MDA/(nmol/mL)		2.81±0.25	3.16±0.11	3.19±0.34	3.12±0.27	0.673
总抗氧化能力 T-AOC/(μmol/L)	42	$6.41±1.03^{b}$	$7.93±0.84^{b}$	$11.84±0.75^{a}$	$6.95±1.18^{b}$	0.032
总超氧化物歧化酶 T-SOD/(U/mL)		111.75±1.53	107.40±2.30	108.29±4.07	106.15±3.16	0.574
丙二醛 MDA/(nmol/mL)		3.41±0.31	3.01±0.27	3.83±0.35	3.23±0.47	0.362

2.5 饲粮胡芦巴粉水平对肉仔鸡血清生化指标的影响

由表 6 可知，3%、6%和 9%胡芦巴粉组的 21 日龄血清 AST 活性相比对照组均有所升高，且 9%胡芦巴粉组显著高于对照组（$P<0.05$）；3%、6%和 9%胡芦巴粉组的 42 日龄血清 AST 活性也均高于对照组，且 3%胡芦巴粉组显著高于对照组（$P<0.05$）。饲粮胡芦巴粉水平对 21 和 42 日龄血清 TP、ALB、GLO、UN 含量和白球比及 ALT 活性无显著影响（$P>0.05$）。

表 6　饲粮胡芦巴粉水平对肉仔鸡血清生化指标的影响

Table 6　Effects of dietary fenugreek powder level on serum biochemical parameters of broilers

项目 Items	日龄 Days of age	胡芦巴粉水平 Fenugreek powder level/%				*P* 值 *P*-value
		0	3	6	9	
总蛋白 TP/(g/L)		28.16±0.82	28.88±0.52	27.77±0.73	29.52±0.92	0.386
白蛋白 ALB/(g/L)		15.19±0.66	14.53±0.33	14.62±0.37	15.16±0.33	0.613
球蛋白 GLO/(g/L)		13.37±0.60	14.34±0.61	13.14±0.45	14.37±0.77	0.373
白球比 A/G	21	1.12±0.05	1.03±0.06	1.12±0.03	1.08±0.06	0.610
谷丙转氨酶 ALT/(U/L)		6.52±0.45	7.11±0.43	7.99±0.61	6.87±0.28	0.155
谷草转氨酶 AST/(U/L)		202.98±5.42[b]	225.39±7.53[ab]	206.81±7.92[b]	230.97±8.79[a]	0.032
尿素氮 UN/(mmol/L)		0.22±0.01	0.27±0.04	0.28±0.05	0.29±0.05	0.571
总蛋白 TP/(g/L)		30.24±1.10	30.26±0.80	28.67±0.81	28.79±0.48	0.353
白蛋白 ALB/(g/L)		15.34±0.23	16.27±0.51	15.23±0.49	15.53±0.49	0.364
球蛋白 GLO/(g/L)		14.90±1.07	13.99±0.68	13.43±0.47	13.14±0.66	0.379
白球比 A/G	42	1.08±0.08	1.19±0.09	1.14±0.04	1.22±0.10	0.633
谷丙转氨酶 ALT/(U/L)		4.60±0.81	4.17±0.19	4.33±0.17	4.10±0.26	0.860
谷草转氨酶 AST/(U/L)		251.66±8.79[b]	291.56±11.48[a]	273.68±11.00[ab]	252.49±8.35[b]	0.023
尿素氮 UN/(mmol/L)		0.21±0.02	0.27±0.03	0.25±0.01	0.23±0.01	0.230

3　讨　论

3.1　饲粮胡芦巴粉水平对肉仔鸡生长性能的影响

目前，国内外关于胡芦巴粉的研究多将其作为一种非营养性饲料添加剂在饲料中以较低水平添加，作为蛋白质饲料原料的研究报道较少。本试验结果表明，饲养前期（1~21 日龄）饲粮添加 3%和 6%胡芦巴粉对平均日采食量仅呈现降低的趋势，并未产生显著影响；当胡芦巴粉添加水平提高至 9%时，前期平均日采食量显著降低。这与徐又新等[11]的研究结果一致，徐又新等[11]研究发现，胡芦巴粉对家禽而言适口性较差，添加水平超过 5%时采食量会

随胡芦巴粉水平增加而降低。本试验发现，当饲粮胡芦巴粉水平增加到 6%和 9%时，饲养前期平均体重和平均日增重均显著低于对照组，两者的降低可能归因于胡芦巴粉适口性较差导致的采食量减少。料重比方面，饲粮添加 3%、6%和 9%胡芦巴粉均能不同程度地降低饲养前期料重比。其中，3%胡芦巴粉组料重比显著降低。从饲养后期和饲养全期来看，饲粮添加 3%、6%和 9%胡芦巴粉均未对生长性能产生显著影响，但鉴于 9%胡芦巴粉组 42 日龄平均体重和料重比在数值上呈现的明显负面效应，建议肉仔鸡饲养后期饲粮胡芦巴粉水平最好不超过 6%。

3.2　饲粮胡芦巴粉水平对肉仔鸡胸肌肉品质的影响

动物屠宰后肌肉 pH 的变化主要是肌肉中糖原酵解所引起的[12]。家禽的肌肉 pH 与肌肉系水力呈显著正相关，同时还能够通过影响微生物的繁殖速率决定肉品的货架寿命，因此将其作为衡量肉品质的重要指标之一[13-14]。在肉品质评定标准中，屠宰后 45 min 肌肉 pH 低于 5.8 是白肌肉(PSE 肉)的判定指标之一，而屠宰后 24 h 肌肉 pH 高于 6.0 是黑干肉(DFD 肉)的评定指标之一[15]。本研究结果表明，饲粮添加胡芦巴粉对肉仔鸡肌肉 pH 无显著影响，且各组的 $pH_{45\ min}$ 和 $pH_{24\ h}$ 均在正常范围之内，证明饲喂胡芦巴粉并不会对肌肉 pH 产生负面效应。剪切力是反映肌肉嫩度的重要指标，肌肉内部的各组分及其内部的化学变化是影响肌肉嫩度的根本原因[12]。本试验结果表明，饲粮胡芦巴粉水平对肉仔鸡肌肉嫩度无显著影响。滴水损失率、蒸煮损失率和压力损失率都是反映肌肉系水力的指标。滴水损失率和蒸煮损失率越低，肌肉系水力越高；压力损失率与肌肉系水力呈线性负相关[16]。本试验中肌肉的滴水损失率随饲粮胡芦巴粉水平的增加而降低，9%胡芦巴粉组显著低于对照组。同时 9%胡芦巴粉组的压力损失率相比对照组也显著降低。该结果提示，胡芦巴粉可以提高肉仔鸡的肌肉系水力，饲粮胡芦巴粉水平与系水力存在一定程度的量效关系。通过回归分析拟合饲粮胡芦巴粉水平（x）与滴水损失率（y）的回归方程为：$y=10.950-0.574x$ ($R^2=0.374$, $P<0.001$)，由此得出，9%的胡芦巴粉水平对肉品质的改善作用在本试验的各个组中最佳。

3.3　饲粮胡芦巴粉水平对肉仔鸡免疫器官指数的影响

胸腺、脾脏和法氏囊是禽类重要的免疫器官，是机体免疫细胞产生、分化并发挥效应的场所[17]。一般认为，免疫器官重量在正常范围内的增加或降低与免疫机能的增强或减弱具有一定的相关性[18]。因此，免疫器官指数可以作为反映免疫系统发育和机体免疫状态的初步指标。研究表明，以每千克体重 100 mg 的剂量饲喂小鼠胡芦巴种子提取物 10 d 后显著提高了小鼠的胸腺相对重量、吞噬细胞数量和巨噬细胞的吞噬能力，说明胡芦巴种子提取物可以对动物产生一定的免疫促进作用[19]。本研究表明，饲粮添加 6%胡芦巴粉可以显著提高 21 日龄肉仔鸡的脾脏指数，但 42 日龄免疫器官指数并未受到饲粮胡芦巴粉水平的影响。脾脏作为家禽体内最大的外周免疫器官，是 B 淋巴细胞和 T 淋巴细胞产生和成熟的重要部位，对体液免疫和细胞免疫具有重要的作用[20]。因此本试验结果提示，饲粮添加 6%的胡芦巴粉对肉仔鸡的免疫性能具有更好的促进作用。这种作用的产生可能来源于胡芦巴粉中的黄酮等物质的免疫刺激效应，这一效应在谢鹏等[21]和梁英等[22]的研究中均有报道，但其具体作用机制尚不明确。

3.4　饲粮胡芦巴粉水平对肉仔鸡血清抗氧化指标的影响

动物机体在正常代谢活动中会不断产生具有强氧化作用的自由基，而动物可以通过固有的抗氧化系统不断清除体内的自由基以保护组织和细胞免受氧化损伤，两者在正常情况下保持着一种动态平衡[23]。机体的抗氧化能力可以通过 T-AOC、T-SOD 和 MDA 等指标反映[24]。其中，T-AOC 是体内各种氧化和抗氧化物质共同作用的结果，是反映机体总体抗氧化能力强弱的综合指标。超氧化物歧化酶（SOD）是机体内广泛存在的一种内源抗氧化酶，具有清除自由基的作用。MDA 为脂质过氧化代谢的产物，是反映脂质过氧化程度的重要指标[25]。

国内外诸多研究表明，胡芦巴粉及其提取物在体内和体外试验中均被发现具有抗氧化作用。Kaviarasan 等[26]通过体外试验发现，从胡芦巴种子中获得的多酚提取物可防止红细胞发生脂质过氧化和溶血反应，且存在剂量效应。Ravikumar 等[27]研究发现，在小鼠饲粮添加胡芦巴粉可降低其体内脂质过氧化反应，并对糖尿病小鼠血液和组织中的抗氧化系统具有一定的修复功能。本试验发现，饲粮添加 6%胡芦巴粉提高了肉仔鸡 42 日龄的血清 T-AOC，与已有研究结果具有一定的一致性。

本试验中，饲粮添加 3%和 6%的胡芦巴粉降低了 21 日龄血清 T-SOD 活性，而 9%胡芦巴粉组血清 T-SOD 活性相较对照组有所提高，并显著高于 3%和 6%胡芦巴粉组。研究发现，

胡芦巴粉中含有较高水平的脂肪（8.39%）且多由多不饱和脂肪酸（PUFA）组成，其 PUFA 的含量占总脂肪酸含量的 80%[28]。PUFA 易发生过氧化反应，因此饲喂含胡芦巴粉的饲粮可能造成肉仔鸡体内自由基含量的上升，并使血清 MDA 含量有所升高[29]。在肉仔鸡饲喂前期自身抗氧化系统尚未发育完全时，这种变化可能是本试验饲粮添加 3%和 6%的胡芦巴粉造成肉仔鸡血清 T-SOD 活性的降低的原因。而当饲粮添加 9%胡芦巴粉时，较高水平的 PUFA 达到了其对饲养前期肉仔鸡抗氧化系统刺激的阈值，由此引发了机体抗氧化能力的代偿性提高，使血清 T-SOD 活性恢复至正常水平[30]。

3.5　饲粮胡芦巴粉水平对肉仔鸡血清生化指标的影响

血清 TP、ALB 和 UN 含量都与机体的蛋白质代谢密切相关。血清 TP 含量是 ALB 与 GLO 含量之和，可以作为反映机体蛋白质合成代谢的综合指标，ALB 由肝脏合成，能够反映机体营养状态和蛋白质代谢情况[31]。TP 和 ALB 含量的升高是蛋白质的合成代谢旺盛的标志。UN 是蛋白质分解的产物之一，其含量的变化反映了机体蛋白质分解水平[32]。本试验结果显示，饲粮胡芦巴粉水平并未对肉仔鸡血清 TP、ALB 和 UN 含量产生显著影响，说明胡芦巴粉对肉仔鸡的蛋白质代谢无不良作用。血清 GLO 参与机体免疫活动，是评价机体免疫机能尤其是体液免疫水平的重要指标，本试验发现胡饲粮胡芦巴粉水平未对肉仔鸡血清 GLO 含量产生显著影响。

ALT 和 AST 均在肝脏合成，正常状态下在肝脏中参与氨基酸代谢。当肝细胞受损或者肝脏通透性增强时，ALT 和 AST 会大量扩散入血，导致其在血清中活性急剧升高[33]。因此血清 ALT 和 AST 活性一方面反映了机体氨基酸代谢水平，另一方面可以说明肝脏组织是否发生损伤。本研究结果显示，21 日龄时，饲粮添加胡芦巴粉使血清 AST 活性呈现不同程度升高，但并未对血清 ALT 活性产生显著影响。血清 ALT 活性未产生显著变化，表明胡芦巴粉并未对 21 日龄肉仔鸡的肝细胞产生明显的损伤作用。因此添加胡芦巴粉组的血清 AST 活性的提高可推断为是肝脏中 AST 合成增加所致，这在一定程度上反映了体内蛋白质和氨基酸代谢水平的升高。蛋白质的周转代谢和沉积作用是机体增重的重要生理过程[34]，联系本试验饲养前期料重比和血清 AST 活性变化的数据，推测蛋白质代谢水平的变化可能是前期饲料转化率改变的因素之一。但由于较高水平的胡芦巴粉影响了采食量，这一作用在数值上并未呈现特别强的对应性，因此有待进一步的研究进行佐证。与 21 日龄相似，42 日龄肉仔

鸡血清 AST 活性均呈现不同程度的升高而血清 ALT 活性未见显著变化，提示胡芦巴粉具有提高氨基酸周转代谢的效果，但其具体作用机制需进一步研究。

3.6　胡芦巴粉作为蛋白饲料原料应用于肉仔鸡生产的可行性

本试验实测得到胡芦巴粉各营养指标含量为：能量 20.10 MJ/kg、粗蛋白质 38.30%、总氨基酸 26.43%、粗脂肪 6.98%、钙 0.10%、磷 0.06%、禽表观代谢能值 8.518 MJ/kg，其主要养分含量与大豆粕相当。胡芦巴粉作为制备胡芦巴胶的副产物，较豆粕具有明显的价格优势，并已被收录至中国饲料原料名录，因而具有成为优良蛋白饲料原料的可能性。

本试验结果表明，肉仔鸡饲养前期饲粮添加 3%胡芦巴粉可在不影响肉仔鸡生长性能的同时显著降低料重比，但添加水平达到 6%和 9%时会影响前期的生长性能。饲养后期和饲养全期添加 3%、6%和 9%的胡芦巴粉均对肉仔鸡生长性能无显著不良影响。且上述水平的胡芦巴粉对肉仔鸡的免疫器官发育、肉品质及血清抗氧化和生化指标均无负面作用。同时发现饲粮添加 3%胡芦巴粉能促进肉仔鸡 42 日龄蛋白质代谢水平，饲粮添加 6%胡芦巴粉可促进肉仔鸡饲养前期脾脏的发育并提高 42 日龄血清 T-AOC，饲粮添加 9%胡芦巴粉能提高肌肉系水力。综上所述，胡芦巴粉可作为蛋白质饲料原料应用于肉仔鸡生产。其适宜的添加水平为：饲养前期不超过 3%，饲养后期不超过 6%。

4　结　论

① 胡芦巴粉可作为新型蛋白质饲料原料用于肉仔鸡生产，但饲养前期添加水平不宜超过 3%，饲养后期添加水平不宜超过 6%。

② 饲粮添加 3%胡芦巴粉可降低饲养前期料重比，且对饲养后期和饲养全期生长性能无负面影响。

③ 饲粮添加胡芦巴粉可改善肉仔鸡肌肉系水力，并能在一定程度上提高抗氧化性能和促进蛋白质代谢。

参考文献：

[1] ACHARYA S N,THOMAS J E,BASU S K.Fenugreek,an alternative crop for semiarid regions of North America[J].Crop Science,2008,48(3):841–853.

[2] MEGHWAL M,GOSWAMI T K.A review on the functional properties,nutritional content,medicinal utilization and potential application of fenugreek[J].Food Processing &

Technology,2012,3:9.

[3] MEHRAFARIN A,REZAZADEH S,NAGHDI BADI H,et al.A Review on biology,cultivation and biotechnology of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum L.*) as a valuable medicinal plant and multipurpose[J].Journal of Medicinal Plants,2011,10(37):6–24.

[4] 李继秋,谢幼梅,杨全明.葫芦巴豆粉营养价值的初步评定[J].饲料工业,2002,23(3):31–32.

[5] ALLOUI N,AKSA S,ALLOUI M N,et al.Utilization of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum*) as growth promoter for broiler chickens[J].Journal of World's Poultry Research,2012,2(2):25–27.

[6] HOSSAIN M M,BEGUM M,NYACHOTI C M,et al.Dietary fenugreek seed extract improves performance and reduces fecal *E. coli* counts and fecal gas emission in lactating sows and suckling piglets[J].Canadian Journal of Animal Science,2015,95(4):561–568.

[7] 邵明昱.胡芦巴种子总黄酮提取分离、抑菌及抗氧化活性的研究[D].硕士学位论文.乌鲁木齐:新疆农业大学,2012.

[8] JOHNSTON N L,QUARLES C L,FAGERBERG D J,et al.Evaluation of yucca saponin on broiler performance and ammonia suppression[J].Poultry Science,1981,60(10):2289–2292.

[9] JAISWAL N,MAURYA C K,VENKATESWARLU K,et al.4-Hydroxyisoleucine stimulates glucose uptake by increasing surface GLUT4 level in skeletal muscle cells via phosphatidylinositol-3-kinase-dependent pathway[J].European Journal of Nutrition,2012,51(7):893–898.

[10] ZHANG L,YUE H Y,ZHANG H J,et al.Transport stress in broilers:I.Blood metabolism,glycolytic potential,and meat quality[J].Poultry Science,2009,88(10):2033–2041.

[11] 徐又新,张艳,汤宏,等.香豆粉的饲用价值[J].中国饲料,1999(12):25–26.

[12] 席鹏彬,蒋宗勇,林映才,等.鸡肉肉质评定方法研究进展[J].动物营养学报,2006,18(S1):347–352.

[13] RATHGEBER B M,BOLES J A,SHAND P J.Rapid postmortem pH decline and delayed chilling reduce quality of turkey breast meat[J].Poultry Science,1999,78(3):477–484.

[14] RUSSELL S M,FLETCHER D L,COX N A.Spoilage bacteria of fresh broiler chicken

carcasses[J].Poultry Science,1995,74(12):2041–2047.

[15] EIKELENBOOM G,HOVING-BOLINK A H,VAN DER WAL P G,et al.The effect of ultimate pH on eating quality of pork[R].Netherlands:Instituut voor Veeteeltkundig Onderzoek Schoonoord,1992.

[16] QIAO M,FLETCHER D L,SMITCH D P,et al.The effect of broiler breast meat color on pH,moisture,water-holding capacity, and emulsification capacity[J].Poultry Science,2001,80(5):676–680.

[17] 杨汉春.动物免疫学[M].2 版.北京:中国农业大学出版社,2003.

[18] GROSSMAN C J.Interactions between the gonadal steroids and the immune system[J].Science,1985,227(4684):257–261.

[19] BIN-HAFEEZ B,HAQUE R,PARVEZ S,et al.Immunomodulatory effects of fenugreek (*Trigonella foenum graecum* L.) extract in mice[J].International Immunopharmacology,2003,3(2):257–265.

[20] 韩杰,张飞,边连全.刺五加多糖对免疫应激断奶仔猪免疫器官指数、粪便微生物菌群数量和胃肠道 pH 的影响[J].动物营养学报,2014,26(8):2314–2319.

[21] 谢鹏,张敏红.黄酮类化合物对动物免疫功能的影响[J].动物营养学报,2005,17(3):17–20.

[22] 梁英,任成财,姜宁,等.黄芩黄酮对肉仔鸡生长性能和免疫功能的影响[J].动物营养学报,2011,23(8):1409–1414.

[23] LIU G M,YAN T,WANG J,et al.Biological system responses to zearalenone mycotoxin exposure by integrated metabolomic studies[J].Journal of Agricultural and Food Chemistry,2013,61(46):11212–11221.

[24] 黄静,邝哲师,廖森泰,等.桑叶粉和发酵桑叶粉对胡须鸡生长性能、血清生化指标及抗氧化指标的影响[J].动物营养学报,2016,28(6):1877–1886.

[25] 贾聪慧,杨彩梅,曾新福,等.丁酸梭菌对肉鸡生长性能、抗氧化能力、免疫功能和血清生化指标的影响[J].动物营养学报,2016,28(3):908–915.

[26] KAVIARASAN S,VIJAYALAKSHMI K,ANURADHA C V.Polyphenol-rich extract of fenugreek seeds protect erythrocytes from oxidative damage[J].Plant Foods for Human

Nutrition,2004,59(4):143–147.

[27] RAVIKUMAR P,ANURADHA C V.Effect of fenugreek seeds on blood lipid peroxidation and antioxidants in diabetic rats[J].Phytotherapy Research,1999,13(3):197–201.

[28] 张广伦,张卫明,肖正春,等.胡芦巴的营养成分及其利用[J].中国野生植物资源,2011,30(3):18–20.

[29] 王思宇.肉鸡日粮胡芦巴粉营养价值评定及其饲用量研究[D].硕士学位论文.杨凌:西北农林科技大学,2014.

[30] 杨小军,贺喜,何丽霞,等.日粮添加多不饱和脂肪酸对肉仔鸡抗氧化指标的影响[J].动物营养学报,2008,20(3):299–304.

[31] 周旻瑶,苗丽萍,齐明星,等.饲粮添加蛋氨酸锰对蛋鸡生产性能、蛋品质及血清生化指标的影响[J].动物营养学报,2016,28(9):2920–2926.

[32] 杨宏波,刘红,余同水,等.不同添加水平半胱胺对奶牛泌乳性能和血清生化指标的影响[J].中国农业大学学报,2015,20(5):201–208.

[33] 李倜,丁雪梅,张克英,等.饲粮中添加三聚氰胺对肉鸡生长性能和健康的影响[J].动物营养学报,2010,22(6):1694–1702.

[34] 贺喜,岳龙,张石蕊,等.低蛋白质饲粮中植物源血根碱替代色氨酸对仔猪门静脉血浆流率及氨基酸代谢的影响[J].动物营养学报,2015,27(6):1861–1867.

Effects of Fenugreek Powder on Growth Performance, Meat Quality, Immune Organ Indexes, Serum Antioxidant and Biochemical Parameters of Broilers

YAN Tao WANG Siyu YANG Xiaojun DUAN Yulan GONG Yuesheng* YANG Xin*

(*College of Animal Science and Technology, Northwest A&F University, Yangling* 712100, *China*)

Abstract: The current study was conducted to investigate the effect of fenugreek powder (FP) on growth performance, meat quality, immune organ indexes, serum antioxidant and biochemical parameters of broilers. A total of 320 one-day-old Arbor Acres broilers were randomly allotted into

*Corresponding authors: GONG Yuesheng, professor, E-mail: gongyuesheng@sohu.com; YANG Xin, lecturer, Email: yangx0629@163.com (责任编辑 武海龙)

4 groups with 8 replicates per group and 10 broilers per replicate. Four levels of FP [0(control), 3%, 6% and 9%] were used into experiment diets and all of these diets were at a same nutrient level. The experiment lasted for 42 days. The results showed as follows: 1) at 1 to 21 days of age, the average body weight and average daily gain of 6% and 9% FP groups were significantly lower than those of control group (P<0.05), the average daily feed intake of 9% FP group was significantly lower than that of control group (P<0.05), and the ratio of feed to gain of 3% FP group was significantly lower than that of control group (P<0.05). At 22 to 42 days of age and 1 to 42 days of age, dietary FP level did not significantly affect the growth performance of broilers (P>0.05). 2) The drip loss and pressure loss of breast meat of 9% FP group were significantly lower than those of control group (P<0.05). Dietary FP level did not significantly affect the $pH_{45\ min}$, $pH_{24\ h}$, shear force and cooking loss of breast meat (P>0.05). 3) The spleen index at 21 days of age of 6% FP group was significantly higher than that of control group (P<0.05). Dietary FP level did not significantly affect the thymus index, bursa of Fabricius index at 21 days of age and thymus index, spleen index, bursa of Fabricius index at 42 days of age (P>0.05). 4) The serum total superoxide dismutase (T-SOD) activity at 21 days of age of 9% FP group was higher than that of control group (P>0.05), and significantly higher than that of 3% and 6% FP groups (P<0.05); the serum total antioxidant capacity (T-AOC) at 42 days of age of 6% FP group was significantly higher than that of other groups (P<0.05). Dietary FP level did not significantly affect the serum T-AOC and malondialdehyde (MDA) content at 21 days of age and serum T-SOD activity and MDA content at 42 days of age (P>0.05). 5) The serum glutamic-oxalacetic transaminase activity at 21 days of age of 9% FP group was significantly higher than that of control group (P<0.05), the serum glutamic-oxalacetic transaminase activity at 42 days of age of 3% FP group was significantly higher than that of control group (P<0.05). Dietary FP level did not significantly affect the serum total protein, albumin, globulin, urea nitrogen content and albumin/globulin and glutamic-pyruvic transaminase activity at 21 and 42 days of age (P>0.05). In conclusion, FP can be used as a protein ingredient in broilers feeding, FP can improve the water holding capacity of muscle, promote immune organ development, and improve antioxidant

capacity and enhance protein metabolism. The dietary suitable supplemental level of FP for broilers is no more than 3% at 1 to 21 days of age and no more than 6% at 22 to 42 days of age.

Key word: fenugreek powder; broilers; growth performance; meat quality; serum biochemical parameters